

И. И. Ботенов, В. К. Семенов

Ивановский государственный энергетический университет

имени В.И. Ленина, г. Иваново

asd44w@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ ПУЗЫРЯ «ЧИСТОГО» КОНДЕНСАТА НА ДИНАМИКУ РЕАКТОРА

В работе исследуется влияние пузыря «чистого» конденсата на динамику реактора. Проводится моделирование данного процесса с использованием программ COMSOL Multiphysics, Mathcad, Имитатор реактора (ИР). В работе производится анализ полученных результатов с точки зрения их влияния на надёжность и безопасность работы реактора.

Ключевые слова: «чистый» конденсат; борная кислота; турбулентная диффузия; динамика реактора; ксеноновые колебания; локальный перегрев активной зоны; пусковая авария.

I. I. Botenov, V. K. Semenov

Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo

INFLUENCE OF THE BUBBLE OF “PURE” CONDENSATE ON THE REACTOR DYNAMICS

Influence of the bubble of "pure" condensate on the dynamics of the reactor is investigated. This process is simulated using software: COMSOL Multiphysics, Mathcad, Simulator of reactor (SR). The paper analyzes the results obtained in terms of their impact on the reliability and safety of the reactor.

Keywords: "pure" condensate; boric acid; turbulent diffusion; the dynamics of the reactor; xenon oscillations; local overheating of the active zone; launch accident.

Из главного циркуляционного насоса (ГЦН) в реактор идёт пузырь «чистого» конденсата в борированной воде. По ходу движения пузырь частично рассасывается за счет турбулентной диффузии.

Войдя в реактор, пузырь перемешивается с борированной водой, снижая концентрацию бора и уменьшая эффективность кластеров 10-й группы [1]. Реактивность нижней половины ядерного реактора возрастает, это выводит реактор из стационарного состояния. В результате происходит разгон реактора, и возникают ксеноновые колебания.

Возникшая ситуация опасна тем, что может произойти локальный перегрев оболочек ТВЭЛов в месте прохода пузыря. Кроме того, локальный перегрев активной зоны может возникнуть даже в том месте, где концентрация борной кислоты не изменилась. Это связано с ксеноновыми колебаниями [1], которые в свою очередь вызваны попаданием пузыря «чистого» конденсата в активную зону.

Помимо локальных перегревов попадание большого пузыря может привести к неконтролируемому разгону реактора при его пуске, когда реактивность реактора станет равной нулю ещё до его выхода на минимально-контролируемый уровень (МКУ), т. е. произойдет пусковая авария.

Работа реализована в несколько этапов.

1. Создана имитационная модель турбулентной диффузии пузыря «чистого» конденсата при его транспортировке по трубопроводу от ГЦН до ядерного реактора, в среде COMSOL Multiphysics.

2. На основании имитационной модели определено значение концентрации борной кислоты в пузыре, в момент его попадания в активную зону, полученные результаты во многом сходятся с экспериментальными данными, полученными на стендах ОКБ «Гидропресс» и свидетельствующими о том, что именно при пуске ядерного реактора возможно нарушение работы ГЦН и попадание в активную зону пузыря «чистого» конденсата [2].

3. В среде COMSOL Multiphysics создана имитационная модель турбулентной диффузии пузыря «чистого» конденсата при его движении по активной зоне реактора. В результате, определена функциональная зависимость концентрации борной кислоты от времени нахождения пузыря в активной зоне, которая затем была

интегрирована в программу Mathcad, где реализована модель двухточечного реактора, предназначенная для исследования динамики связанных реакторов с учётом обмена нейтронными потоками и ксеноновых колебаний.

4. Проведено моделирование ситуации с попаданием в активную зону пузыря «чистого» конденсата с использованием программы Имитатор реактора (ИР) Калининской АЭС. ИР является универсальным средством расчетного моделирования работы реактора ВВЭР-1000. Моделирование проводилось двумя способами:

а) проведена замена свежей кассеты сорта С44Z4 на свежую кассету сорта С49G6, в кассете С49G6 содержание выгорающего поглотителя меньше, соответственно она будет обладать большими размножающими свойствами, т. к. в ней больше уранового топлива, таким образом моделируется всплеск реактивности в кассете, характерный для попадания в реактор пузыря «чистого» конденсата;

б) последовательно было обнулено содержание шлаков в каждых двух соседних слоях кассеты, что позволило считать эти слои свежими, имеющими больший коэффициент размножения, таким образом было смоделировано прохождение небольшого (толщиной в два слоя) пузыря «чистого» конденсата вдоль одной из тепловыделяющей сборки (ТВС). Затем была рассмотрена ситуация, когда в активную зону попадает пузырь сопоставимых с ТВС размеров, это было реализовано обнулением содержания шлаков во всех слоях данной кассеты.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при небольшом пузыре «чистого» конденсата, на выходе из исследуемой кассеты теплоноситель закипает, что приводит к кризису теплообмена первого рода, а при значительном размере пузыря возможен резкий скачок мощности и срабатывание аварийной защиты.

Следует отметить, что результаты, полученные с помощью программы ИР, уступают в точности результатам, достигнутым описанным выше способом, и их стоит рассматривать только как качественную оценку возможных последствий попадания в активную

зону пузыря «чистого» конденсата, т. к. для того, чтобы получить точные численные значения возрастания подогрева теплоносителя, увеличения мощности реактора и т. д., обязательно нужно учитывать динамику этого пузыря, возможность его перемешивания с борированной водой и при транспортировке по трубопроводу, и непосредственно в активной зоне, нужно знать время, за которое этот пузырь проходит вдоль ТВС, это важно, так как процессы теплопередачи инерционны.

Таким образом, рассмотренная в работе ситуация требует ещё более детального изучения, т. к. последствия, к которым она может привести, напрямую влияют на надежность и безопасность работы реакторной установки.

Список использованных источников

1. Семенов, В. К. Кинетика и регулирование ядерных реакторов : учеб. пособие / ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». Иваново : ИГЭУ, 2009. 144 с.
2. Анализ безопасности режима с пробкой чистого конденсата при пуске первого главного циркуляционного насоса после перегрузки, 464-Пр-040 / ЗАО «НПО «Гидропресс». Подольск : Изд-во ЗАО «НПО «Гидропресс», 2009. 51 с.